

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۱

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۱۶

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۴/۲۰

صفحات: ۷۷ - ۸۸

تحلیلی بر آلودگی خاک و آثار آن بر اقتصاد کشاورزی مورد شناسی: آلودگی خاک و آثار آن بر کشت شاهی در سیستان

دکتر محمد علی عبدلی^۱، دکتر عبدالرضا کرباسی^۲، دکتر احمد قنبری^۳، دکتر مصطفی خواجه^۴، عباسعلی قادری^۵

چکیده

یکی از نگرانی‌های مهم امروز بشر آلودگی خاک‌های کشاورزی با انواع آلاینده‌های شیمیایی، مخصوصاً فلزات سنگین است که از جمله چالش‌های مهم توسعه کشاورزی و در نتیجه توسعه روستایی به شمار می‌رود. این آلاینده‌ها با استفاده از انواع کودهای آلی و شیمیایی، پساب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و بسیاری دیگر از فرایندهای کشاورزی که به طور محلی بر خاک اثر می‌گذارند، به طور بالقوه توسعه کشاورزی و روستایی را با مشکل روبرو خواهد کرد. این پژوهش به منظور بررسی اثر کودهای آلی (دامی و کمپوست) بر عملکرد گیاه شاهی به عنوان شاخص رشد و همچنین جذب فلزات سنگین مس، سرب و کروم، در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی پردیس دانشگاه زابل اجرا گردید. نتایج یافته‌ها نشان داد که خاک‌های غیر آلوده نسبت به خاک‌های آلوده از عملکرد بالاتری برخوردارند؛ با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین عملکرد گیاه شاهی از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده به فلزات سنگین (۶/۰۹ تن در هکتار) حاصل شد و کمترین عملکرد گیاه شاهی نیز از تیمار کود دامی آلوده به فلزات سنگین (۴ تن در هکتار) به دست آمد. در عین حال نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که بین انواع کودهای مصرفی از نظر تجمع عناصر سنگین در توده گیاهی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که تجمع عناصر سنگین هم در بافت ریشه و هم در اندام‌های رویشی گیاه شاهی که با انواع کودهای آلوده به فلزات سنگین تیمار شده بودند، نسبت به تیمارهای غیر آلوده بیشتر بود. کلید واژگان: توسعه کشاورزی، آلودگی خاک‌های کشاورزی، گیاه شاهی، کودهای آلی، سیستان.

Mabdoli@chamran.ut.ac.ir
akarbassi@ut.ac.ir
agb.ghanbari@yahoo.com
m-khajeh@uoz.ac.ir
ghaderi@eng.usb.ac.ir

۱- استاد مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران
۲- استادیار مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران
۳- دانشیار زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زابل
۴- دانشیار شیمی دانشگاه زابل
۵- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران (نویسنده مسؤل)

مقدمه

بسیاری از پژوهشگران توسعه کشاورزی را به عنوان استراتژی و راهبرد اصلی توسعه روستایی قلمداد کرده و معتقدند که کشاورزی به عنوان منبع اصلی تأمین درآمد و فرصت‌های اشتغال، نقشی اساسی در توسعه روستایی ایفا می‌کند. گسترش کشاورزی پایدار و توسعه روستایی یکی از شاخص‌های توسعه پایدار است که توسط کمیسیون توسعه پایدار ملل متحد تدوین شده است (مولدان و بیلهارز، ۱۳۸۱: ۱۷۳). با وجود این دستیابی به کشاورزی پایدار بدون خاک پایدار امکان‌پذیر نیست. رسیدن به خاک پایدار نیز بدون ماده آلی کافی در خاک ممکن نیست و مقدار ماده آلی خاک نیز تا حدود زیادی به مقدار مواد آلی افزوده شده به خاک و چگونگی مدیریت آن بستگی دارد. هم مواد آلی اولیه مانند کود دامی، کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب و هم ماده آلی خاک از عوامل اصلی شکل‌گیری و تکامل خاک به شمار می‌روند. مواد آلی با حفظ تنوع زیستی موجودات خاک‌زی به حفظ توازن موجودات سودمند و بیماری‌زای خاک کمک می‌کنند (ولف و اسنایدن، ۱۳۸۶: ۱۵). با وجود این که از دیرباز اهمیت مواد آلی و ماده آلی خاک در تولید فرآورده‌های زارعی شناخته شده است، اما ضرورت آنها در کشاورزی پایدار به‌تازگی شناخته شده است؛ به طوری که کاربرد کودهای آلی مانند کود دامی، کمپوست و لجن فاضلاب در خاک علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین عناصر میکروبی باعث افزایش و بهبود فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (انربنر و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۰۹۲).

خاک‌های منطقه خشک و نیمه خشک ایران معمولاً دچار کمبود مواد آلی می‌باشند که این امر باعث کاهش حاصلخیزی و خصوصیات مطلوب شیمیایی و فیزیکی این خاک‌ها می‌شود. انواع این مواد که باعث تفاوت بسیار میان آنها می‌شود، اثرهای

متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی آن می‌گذارد که در بیشتر موارد با بهینه کردن این شرایط، امکان لازم برای تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کمی و کیفی را فراهم می‌آورد (براهیمی و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۰۳). با وجود این یکی از نگرانی‌های مهم امروز بشر، آلودگی خاک و مخصوصاً خاک‌های کشاورزی است. آلودگی خاک‌های کشاورزی با انواع آلاینده‌های شیمیایی و مخصوصاً فلزات سنگین از جمله چالش‌های مهم توسعه کشاورزی و در نتیجه توسعه روستایی است. البته آلودگی خاک‌های کشاورزی با فلزات سنگین به عنوان مشکل اساسی جوامع صنعتی و غیرصنعتی در سراسر جهان به شمار می‌آید که با پیشرفت‌های تکنولوژی به طور قابل ملاحظه‌ای در حال افزایش است و تهدیدی جدی برای محیط، سلامت خاک و انسان محسوب می‌شود (سرباسی و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۶). از طرفی کاهش حاصلخیزی خاک و ترس از قحطی، یک فشار سیاسی قوی است که خودکفایی در تولید محصولات غذایی را در بیشتر کشورها به یک هدف سیاسی مهم تبدیل کرده است (لگرید و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۱).

سازمان ملل چهار گروه عمده به عنوان شاخص توسعه پایدار معرفی کرده است و شاخص‌های زیست محیطی یکی از این چهار گروه است که می‌تواند به صورت نقشه آماری و جغرافیایی نشان داده شود. در بسیاری از موارد، وقتی شاخص‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند، لازم است که نمونه مکانی از یک شاخص مورد استفاده قرار گیرد (مولدان و بیلهارز، ۱۳۸۱: ۴۶). لذا، در این تحقیق بررسی آلودگی خاک به عنوان یک نمونه مکانی شاخص زیست محیطی در نظر گرفته شده و علاوه بر اثر کود شیمیایی و کودهای آلی (کود دامی و کمپوست) بر عملکرد گیاه شاخص (شاهی) در صورت آلوده شدن

تحقیقاتشان بیان کردند که کمپوست خاک را از نظر مورفولوژی و خواص شیمیایی بهبود می‌بخشد و به طور معنی‌داری رشد محصول را افزایش می‌دهد و آثار منفی را کاهش می‌دهد، گرچه افزودن کمپوست به خاک‌های زراعی کاشت بذر را به تأخیر می‌اندازد. اینک همان گونه که اشاره شد، استفاده از کودهای آلی در کشاورزی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود و حاصلخیزی آن را افزایش می‌دهد. ولی باید به این نکته توجه داشت که اگرچه کودهای آلی بسیاری از ویژگی‌های خاک را برای رشد بهتر گیاه بهبود می‌بخشد، اما آلودگی‌های ناشی از این کودها باید مورد توجه قرار گیرد. سیری در پژوهش‌های زیست محیطی و بهداشت محیط دو دهه اخیر نشان می‌دهد که کودهای آلی پتانسیل بالایی در آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی و به طور کلی محیط زیست دارند (تن و همکاران، ۱۹۹۲) که از جمله این آلودگی‌ها، آلودگی خاک‌های کشاورزی با فلزات سنگین است. کودهای آلی، معدنی و صنعتی شامل سطوح مختلفی از عناصر سنگین مانند سرب، کروم، نیکل، کادمیوم و آرسینک می‌باشند. استفاده از این کودها در کشاورزی باعث افزایش این عناصر در خاک می‌شود (لگرید و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۲۶).

نتایج تحقیقات انجام شده بر روی میزان تجمع فلزات سنگین کرم، سرب، نیکل کادمیوم بر روی قسمت‌های خوراکی گندم، کاهو و تربچه نشان می‌دهد که با افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک مقدار تجمع این عناصر در قسمت‌های خوراکی دانه گندم، برگ کاهو و ریشه تربچه افزایش یافته و باعث کاهش رشد گیاهان شده است (نور بخش و غضنفری مقدم، ۱۳۸۰: ۳۵). این در حالی است که استفاده از مواد آلی برای اصلاح و بهبود خاک‌های آلوده به پسماندهای معدنی باعث می‌شود این خاک‌ها برای کاشت مجدد گیاهان مفید واقع شود و در دوباره

خاک به فلزات سنگین، جذب این عناصر توسط ریشه و برگ گیاه نیز بررسی شده است.

پیشینه تحقیق

در سیستان بهره‌گیری از کودهای آلی دامی به شیوه سنتی در مزارع و باغ‌ها از دیر زمان رایج بوده است. درآینده با پیشرفت و توسعه صنعتی علاوه بر استفاده از زایدات دامی استفاده از سایر مواد آلی مانند مواد زاید صنعتی تجزیه‌پذیر، زباله‌های شهری و لجن فاضلاب از طریق تبدیل به کمپوست امری کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. چنان که سیلسپور (۱۳۸۰: ۶۴) در نتیجه تحقیقات خود بیان می‌کند که کودهای آلی یکی از ارکان باروری خاک هستند و برای افزایش ماده آلی خاک و مناسب کردن بستر رشد گیاه می‌توان از این کودها استفاده نمود. همچنین موریسون (۲۰۰۰) از تحقیقات خود نتیجه گرفت که کاربرد کمپوست به عنوان اصلاح کننده خاک، باعث بهبود ساختار خاک و هوادهی به آن می‌شود، تخلخل را افزایش می‌دهد و ظرفیت نگهداری آب و خاک را بالا می‌برد. او نشان داده است که اضافه کردن کمپوست به خاک باعث رشد سریع گندم و شبدر می‌شود، طول ساقه و برگ گیاهان را افزایش می‌دهد و pH خاک را در حالت بهینه ۶ تا ۷ کنترل می‌کند (موریسون، ۲۰۰۰: ۳۳-۳۲). درعین حال ثابت شده است که کاربرد هم‌زمان مقدار زیادی ماده اولیه آلی (کود حیوانی، کمپوست زباله شهری، کود گیاهی و لجن فاضلاب) و خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش یا حداقل ثبات ماده آلی خاک و در عین حال، حفظ تولید محصولات کشاورزی می‌شود. ارزش مواد آلی اولیه در فرآورده‌های زراعی گران‌قیمت مشخص است، ولی ارزش مضاعف آن در خاک‌هایی آشکار می‌شود که ماده آلی کمی دارند (ولف و اسنایدر، ۱۳۸۶: ۳۳۷). اودراگو و همکاران (۲۰۰۱: ۲۶۵) نیز در نتیجه

تحلیلی انجام شد. خاک محل آزمایش با داشتن ۵۶ درصد شن و ۳۲ درصد سیلت و ۱۲ درصد رس در کلاس بافتی لوم شنی (بای بوردی، ۱۳۸۲: ۵)، قرار گرفته است. سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (پاولس و همکاران، ۱۳۸۵ و بای بوردی، ۱۳۸۲: ۷) قبل از انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

محصول دهی اثر مثبت داشته باشد و آثار فلزات سنگین برای گیاهان را کاهش دهد (ابت و همکاران، ۲۰۰۱). البته این امر به خصوصیات مواد آلی، ویژگی‌های خاک و نوع فلز بستگی دارد (شومن، ۱۹۹۹؛ والکر و همکاران، ۲۰۰۳).

روش تحقیق و یافته‌های میدانی

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس دانشگاه زابل به روش توصیفی-

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری													
بافت خاک	سطح ویژه خاک (m ² /g)	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	کربن	
		درصد					Ppm					درصد	
لوم شنی	۳۵	۵۶	۱۲	۳۲	۳۸/۴	۲۲/۹	۳/۸	۶/۴	۱۳۰	۰/۵۹۰	۰/۳۶	۷/۸	۳/۱

ذیل، طبق نقشه طرح آماری استفاده شده شکل (۱) در نظر گرفته شده است.

تیمار اول (T1) کود دامی (گاوی) با خاک آلوده شده به فلزات سنگین.

تیمار دوم (T2) کود کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی با خاک آلوده به فلزات سنگین.

تیمار سوم (T3) کود شیمیایی کامل (فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره) با خاک آلوده به فلزات سنگین.

تیمار چهارم (T4) کود دامی (گاوی) با خاک غیر آلوده به فلزات سنگین (خاک معمولی مزرعه).

تیمار پنجم (T5) کود کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی با خاک غیر آلوده به فلزات سنگین.

تیمار ششم (T6) کود شیمیایی کامل (فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره) با خاک غیر آلوده به فلزات سنگین.

کود دامی (گاوی) مورد نیاز طرح از روستای مجاور محل اجرای طرح، کود کمپوست زباله خانگی از

این پژوهش با توجه به نوع تحقیق، به صورت آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل در شش تیمار و چهار تکرار اجرا گردید (بصیری، ۱۳۷۷: ۸۱-۱۱۵) که در مجموع از ۲۴ کرت تشکیل شد. خاک ۱۲ کرت به فلزات سنگین سرب، کروم و مس با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلو گرم خاک (بیش از مقدار استاندارد) آلوده شد و دوازده کرت بدون آلودگی به فلزات سنگین و به عنوان کنترل تیمارها در نظر گرفته شد. تیمارها در دو گروه، گروه اول شامل: T1، T2 و T3 به ترتیب کود دامی، کمپوست و کود شیمیایی با خاک آلوده به فلزات سنگین سرب، مس و کروم و گروه دوم شامل T4، T5 و T6 به ترتیب کود دامی، کمپوست و کود شیمیایی با خاک غیر آلوده به فلزات سنگین به شرح

کارخانه کمپوست شهرداری زاهدان و کود شیمیایی لازم از جهاد کشاورزی زابل تهیه گردید.

R1	R2	R3	R4
T1	T5	T2	T3
T3	T6	T4	T1
T5	T1	T3	T2
T6	T3	T6	T4
T2	T4	T5	T6
T4	T2	T1	T5

شکل ۱: نقشه طرح آماری تحقیق

در این آزمایش هر بلوک شامل ۶ کرت بود. مساحت هر کرت ۱ متر مربع (۱×۱) و در هر کرت ۶ ردیف کاشت با فاصله ۱۵ سانتی متری و طول ۱ متری

قرار داشت. فاصله بین کرت‌ها نیز ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از کرت بندی زمین و قبل از کاشت، مقدار ۵۰ تن در هکتار کود دامی (گاوی)، ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست، طبق عرف منطقه به دلیل گرمای شدید و تحت تأثیر تنش خشکی (احمدیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۶۸) و کودهای شیمیایی نیز به نسبت ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم ازت از منبع اوره به کرت‌های آزمایشی داده شدند. آنالیز شیمیایی کود دامی و کمپوست در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۲: آنالیز شیمیایی کود دامی

سرب (mg/kg)	مس (mg/kg)	کروم (mg/kg)	کلسیم کل (%)	پتاسیم کل (%)	فسفر کل (%)	نیترژن کل (%)	محتوی آب (%)
۴۲	۸/۵۵	۲/۷۷	۳/۱	۱/۵	۰/۲۹	۱/۲	۴۷

جدول ۳: آنالیز شیمیایی کود کمپوست

۱۴/۶۹	C/N (%)	۲۹/۸	هدایت الکتریکی (ds/m)
۰/۳۶	فسفر کل (%)	۷/۳	Ph
۱/۴۵	پتاسیم کل (%)	-	درصد رطوبت
۱۴۴۰۰	آهن کل (mg/kg)	۷۰	درصد اشباع
۶۵۸	روی کل (mg/kg)	۱۴/۴	کربن آلی (%)
۳۶۵	منگنز کل (mg/kg)	۲۴/۶	مواد آلی (%)
۳۸	کادمیم (mg/kg)	۰/۹۸	نیترژن کل (%)
۵۶	سرب (mg/kg)	۴/۵	کلسیم (%)
۳۷/۱	کروم (mg/kg)	۰/۶	منیزیم (%)
۲۴۰	مس (mg/kg)	۲/۰۸	سدیم کل (%)

گردید. شاهی گیاهی است با میزان رشد سریع و دارای ریشه گسترده؛ از خانواده براسیکاسه (Brassicaceae). گیاهان خانواده براسیکاسه در جذب فلزات سنگین از

با توجه به هدف طرح، با مشاوره کارشناسان بذر توده محلی شاهی (*Lepidium sativum* L.) سازگار با شرایط منطقه از سازمان جهاد کشاورزی تهیه

آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

تحلیل یافته‌ها

بر اساس تحلیل یافته‌ها و نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای آلی و معدنی در کرت‌های آلوده و غیر آلوده به فلزات سنگین در سطح ۵ درصد بر عملکرد شاهی معنی‌دار بود (جدول ۴). به طوری که در رابطه با کرت‌های آلوده و غیر آلوده مشاهده می‌شود که در هر سه نوع کود مصرفی (دامی، کمپوست و شیمیایی)، کرت‌های غیر آلوده به فلزات سنگین عملکرد بالاتری را در مقایسه با کرت‌های آلوده حاصل کردند اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین عملکرد گیاه شاهی از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده به فلزات سنگین (۶/۰۹ تن در هکتار) حاصل شد و تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمارهای کود شیمیایی آلوده (۵/۹۳ تن در هکتار) و کود کمپوست غیر آلوده به فلزات سنگین (۵/۳۴ تن در هکتار) مشاهده نشد. کمترین عملکرد گیاه شاهی نیز از تیمار کود دامی آلوده به فلزات سنگین (۴ تن در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). باید توجه داشت که ماندگاری کودهای شیمیایی و کودهای آلی متفاوت است، به طوری که در حدود ۹۰ درصد عناصر غذایی کودهای شیمیایی در همان سال اول مصرف می‌شود و حداکثر ۱۰ درصد آن برای استفاده گیاهان سال بعد در خاک باقی می‌ماند، در حالی که میزان تأثیرگذاری کودهای آلی بر رشد و عملکرد گیاه در سال اول حدود ۶۰٪ و در سال‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۴۵، ۳۰ و ۲۵ درصد است (اقبال و همکاران، ۲۰۰۴: ۷-۴۴۲). به همین علت است که کودهای آلی در کرت‌های آلوده و غیر آلوده نتوانسته‌اند اثر معنی‌داری بر روی عملکرد داشته باشند. در عین حال کود شیمیایی باعث افزایش

خاک بسیار توانا هستند (آلکورتا و همکاران، ۲۰۰۴). زمین مورد نظر آبیاری شد و بعد از گاوران شدن زمین، کشت شاهی در عمق ۰/۵ سانتی‌متری در تاریخ ۱ اسفند ۱۳۸۷ انجام گردید. تراکم ۵۰۰ هزار بوته در هکتار برای این گیاه در نظر گرفته شد و آبیاری نیز بر اساس عرف منطقه و به صورت غرقابی انجام گردید. صفات عملکرد شاهی، میزان جذب و تجمع عناصر سنگین (کروم، مس و سرب) در بافت‌های ریشه و اندام رویشی (برگ) در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور با حذف آثار حاشیه‌ای از داخل هر کرت آزمایشی، تعداد ۱۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب و میانگین آنها محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد اندام رویشی (برگ) در واحد سطح، در هر واحد آزمایشی، کل بوته‌های ۴ ردیف وسط هر کرت به صورت دستی از سطح زمین برداشت و پس از وزن کردن به واحد سطح تعمیم داده شد. به منظور تعیین غلظت عناصر سنگین در بافت اندام رویشی و ریشه، ابتدا نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴-۳۰ ساعت قرار گرفت و پس از خشک شدن به آزمایشگاه منتقل شد و بعد از آسیاب کردن غلظت عناصر سنگین کروم، مس و سرب اندازه‌گیری گردید. برای اسانس‌گیری نمونه‌ها از دستگاه میکروبیو MAF^۱ مدل Ethos SEL میلستون سوریسول ایتالیا^۲ استفاده شده است که پس از تهیه محلول به حجم رسیده و توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) مدل Cr,Cu,Pb WONM300-KONIK غلظت عناصر قرائت شده است (اکبری مقدم، ۱۳۸۹: ۳۱-۴۰). در نهایت جهت انجام عملیات آماری از نرم افزارهای SAS و Excel برای تجزیه واریانس صفات و مقایسه میانگین استفاده گردید. مقایسه میانگین به روش

نسبت به کودهای غیر آلوده بیشتر بود (شکل ۲). در این بین مقایسه میانگین داده‌ها برای عناصر سنگین (کروم، مس و سرب) اندازه‌گیری شده در توده گیاهی نشان داد که غلظت عنصر کروم هم در ریشه (mg/kg) ۳/۹۴ و هم در اندام رویشی (برگ) گیاه (mg/kg) ۸/۷۱ در تیمار کود کمپوست آلوده به فلزات سنگین بیشترین مقدار است. کمترین مقدار تجمع این عنصر نیز در بافت ریشه و اندام رویشی (برگ) گیاه به ترتب معادل ۲/۲۶ mg/kg و ۲/۰۹ mg/kg از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده به فلزات سنگین به دست آمد (جدول ۶). برای عنصر مس نیز نتایج مشابه با عنصر کروم مشاهده شد. به طوری که بالاترین غلظت این عنصر در بافت ریشه (mg/kg) ۱۲/۶۴ و اندام رویشی (برگ) (mg/kg) ۸/۰۹ از تیمار کود کمپوست آلوده به فلزات سنگین به دست آمد. برای بافت ریشه و نیز اندام رویشی (برگ) این گیاه تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار کود دامی آلوده به فلز وجود نداشت. کمترین تجمع عنصر مس نیز برای بافت ریشه و اندام رویشی (برگ) گیاه شاهی به ترتیب معادل mg/kg ۷/۸۳ و ۴/۴۹ از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده حاصل شد. با وجود این مشاهده می‌شود که از این لحاظ تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمارهای کود دامی و کود کمپوست غیر آلوده به فلز وجود نداشت (جدول ۶). برای عنصر سرب نیز نتایج مشابه با دو عنصر کروم و مس حاصل شد. به طوری که در بافت ریشه گیاه بیشترین غلظت عنصر سرب (mg/kg) ۴۳/۰۲ از کود کمپوست آلوده به دست آمد و تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمار کود دامی آلوده (برگ) نیز بیشترین میزان تجمع این عنصر (mg/kg) ۴۰/۱۶ از تیمار کود کمپوست آلوده حاصل شد. برای هر دو بافت گیاهی نیز کمترین غلظت این عنصر از کاربرد کودهای غیر آلوده به دست آمد. در این بین

عملکرد شده است که علت آن افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه می‌باشد. مس می‌تواند از طریق اعمال تأثیرات زیان‌بار بر فرایندهای فیزیولوژیک مهم موجب ناهنجاری‌هایی در رشد و نمو گیاه شود.

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد شاهی

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد شاهی میانگین مربعات
تکرار	۳	۰/۱۲۱ n.s
تیمار	۵	۰/۴۳۱ **
اشتباه آزمایشی	۱۵	۰/۵۴۲
ضریب تغییرات (%)		۶/۱۲
**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار		

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد شاهی (وزن خشک)

تیمار	عملکرد شاهی (ton/ha)
کود دامی آلوده	۴/۰۰ c
کود کمپوست آلوده	۴/۸۲ b
کود شیمیایی آلوده	۵/۹۳ ab
کود دامی غیر آلوده	۴/۳۹ bc
کود کمپوست غیر آلوده	۵/۳۴ ab
کود شیمیایی غیر آلوده	۶/۰۹ a

تجمع عناصر در توده گیاهی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین انواع کودهای مصرفی از نظر تجمع عناصر سنگین در توده گیاهی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها برای هر دو نوع کود آلوده و غیر آلوده نشان داد که تجمع عناصر سنگین هم در بافت ریشه و هم در برگ گیاه شاهی که با انواع کودهای آلوده به فلزات سنگین تیمار شده بودند،

تیمارهای کودهای آلی این است که این کودها خود نیز دارای مقادیری از عناصر سنگین هستند. از عوامل تأثیرگذار بر تجمع فلز در بخش‌های مختلف گیاه، انتقال یون‌های فلزی به اندام رویشی درون آوند چوب توسط انتقال توده‌ای آب بر اثر تبخیر است.

برای هر دو بافت ریشه و برگ گیاه کمترین غلظت عنصر سرب به ترتیب معادل $25/12 \text{ mg/kg}$ و $23/91 \text{ mg/kg}$ از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده حاصل شد. گیاه شاهی بر خلاف توانایی‌اش در تحمل آلودگی‌های بالای سرب، در زدودن آن از خاک چندان توانا نیست. در واقع علت افزایش فلزات سنگین در

جدول ۶: مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین در بافت ریشه و اندام رویشی گیاه (وزن خشک)

pb (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Cr (mg/kg)		تیمار
اندام رویشی (برگ)	ریشه	اندام رویشی (برگ)	ریشه	اندام رویشی (برگ)	ریشه	
۳۴/۹۹ b	۴۲/۹۶ a	۷/۶۷ a	۱۲/۳۹ a	۷/۲۴ b	۳/۰۲ b	کود دامی آلوده
۴۰/۱۶ a	۴۳/۰۲ a	۸/۰۹ a	۱۲/۶۴ a	۸/۷۱ a	۳/۹۴ a	کود کمپوست آلوده
۲۸/۰۴ c	۳۴/۵۷ b	۵/۹۷ b	۱۱/۶۱ b	۳/۹۹ c	۲/۲۶ c	کود شیمیایی آلوده
۲۴/۸۹ d	cd ۲۶/۰۱	۴/۶۱ c	۸/۳۹ c	۲/۲۰ d	۱/۸۳ e	کود دامی غیر آلوده
۲۵/۹۴ d	۲۷/۶۹ c	۴/۷۳ c	۸/۵۷ c	۲/۲۷ d	۲/۰۵ d	کود کمپوست غیر آلوده
۲۳/۹۱ d	۲۵/۱۲ d	۴/۴۹ c	۷/۸۳ c	۲/۰۹ e	۱/۸۱ e	کود شیمیایی غیر آلوده

خاک‌های آلوده از عملکرد بالاتری در منطقه برخوردارند. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین عملکرد گیاه شاهی از تیمار کود شیمیایی غیر آلوده به فلزات سنگین ($6/09$ تن در هکتار) حاصل شد و کمترین عملکرد گیاه شاهی نیز از تیمار کود دامی آلوده به فلزات سنگین (4 تن در هکتار) به دست آمد. در عین حال نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که بین انواع کودهای مصرفی از نظر تجمع عناصر سنگین در توده گیاهی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که تجمع عناصر سنگین هم در بافت ریشه و هم در اندام‌های رویشی گیاه شاهی که با انواع کودهای آلوده به فلزات سنگین تیمار شده بودند،

نتیجه‌گیری

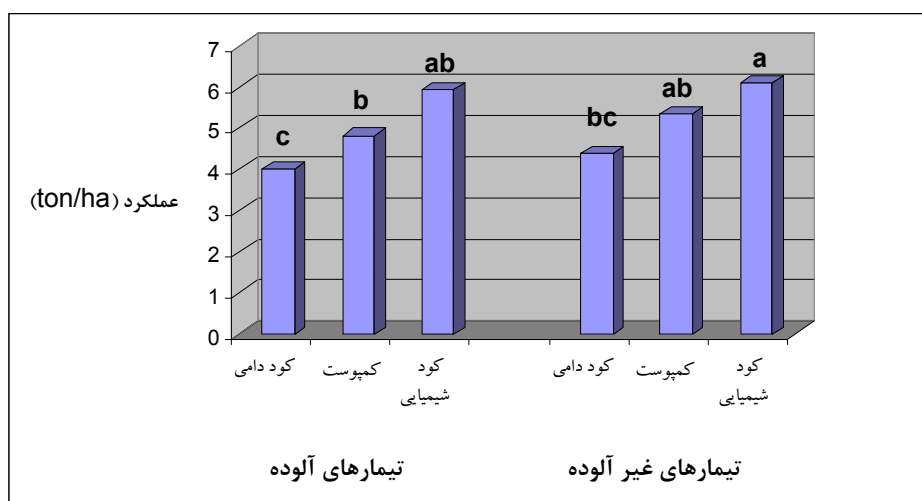
موقعیت جغرافیایی سیستان و شرایط و توانمندی‌های طبیعی آن در طول تاریخ باعث شده بود که این سرزمین به انبار غله ایران معروف شود و در کنار آن دامداری و دامپروری در منطقه رونق یابد؛ اما به دلیل خشکسالی‌های پی در پی و تأثیر مخرب بادهای 120 روزه و در نتیجه تخریب خاک، به مرور زمان شرایط اسفبار کنونی بر این منطقه حاکم شد و روستاها از رونق افتاد. بنابراین برای جلوگیری از نابودی بیشتر خاک‌های کشاورزی و به تبع آن روستاهای منطقه باید به مسأله آلودگی خاک که باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود توجه ویژه داشت. نتایج یافته‌ها نشان داد که خاک‌های غیر آلوده نسبت به

روستایی، فقر، بیکاری، بیماری و ...؛ بنابراین لازم است پژوهشگران شاخه‌های مختلف علمی مخصوصاً جغرافیا و مهندسی محیط زیست، گروه‌های مشترک پژوهشی تشکیل دهند تا به اهداف توسعه روستایی و پیشنهاد‌های ارائه شده که زمینه‌ساز توسعه پایدار است، نزدیک شوند.

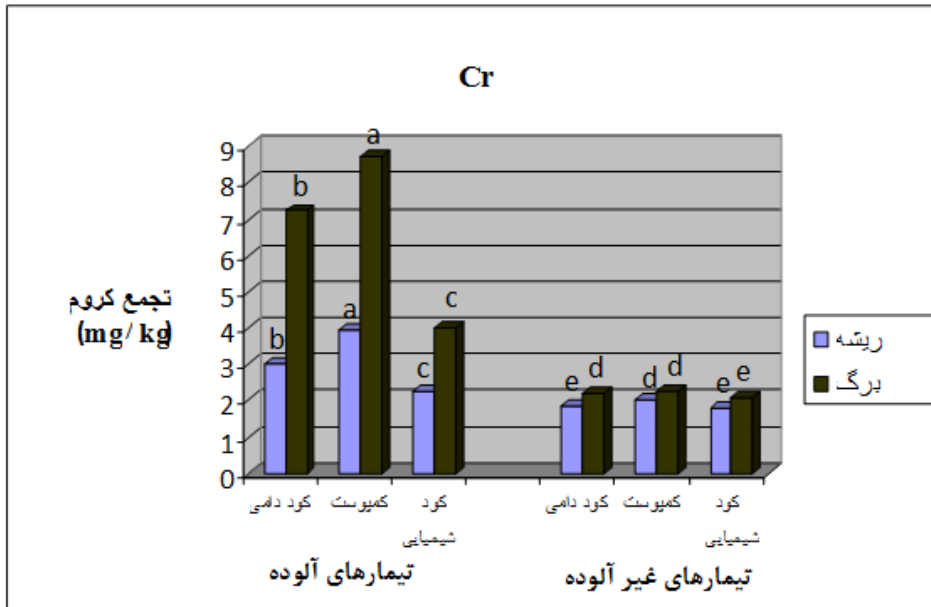
پیشنهادها

- ۱- تهیه نمونه‌های مکانی با استفاده از روش تحقیق حاضر در همه منطقه.
- ۲- تهیه نقشه آماری و جغرافیایی شاخص‌های زیست محیطی بر اساس نمونه‌های مکانی به منظور مطالعه ساده و سریع روند آلودگی خاک.
- ۳- بررسی تأثیر آلودگی خاک بر توسعه منطقه به صورت آماری و پیش‌بینی روند آلودگی در صورت استفاده از انواع کود به صورت سنتی فعلی.

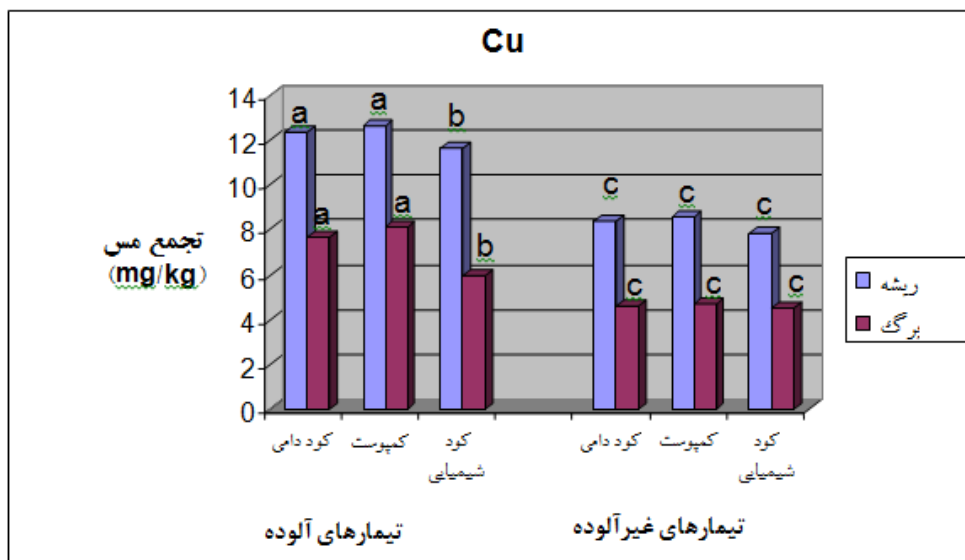
نسبت به تیمارهای غیر آلوده بیشتر بود. در عین حال همان طور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود، آلودگی خاک باعث کاهش عملکرد گیاه در این منطقه می‌شود. بنابراین دامنه آثار آلودگی خاک و تولید محصولات با توجه به توسعه کشاورزی و صنعتی آینده بسیار جدی است و تهدید بالقوه‌ای برای سلامتی انسان و امنیت غذایی جمعیت در حال رشد منطقه می‌باشد. اگر چه در گذشته به مسأله آلودگی خاک توجه نشده است اما امروزه استفاده فراوان از کودهای شیمیایی برای افزایش حاصلخیزی خاک نگرانی محققان را دو چندان کرده است، زیرا اگرچه استفاده فراوان از کودهای شیمیایی در کوتاه مدت به بازگرداندن حاصلخیزی خاک و حفظ توان تولیدی آن منجر می‌شود اما در دراز مدت آثار نامطلوبی بر کیفیت و ساختمان خاک، کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی دارد و آلودگی‌های زیست محیطی را به همراه خواهد آورد. آلودگی خاک یعنی کاهش سرمایه، عدم توسعه



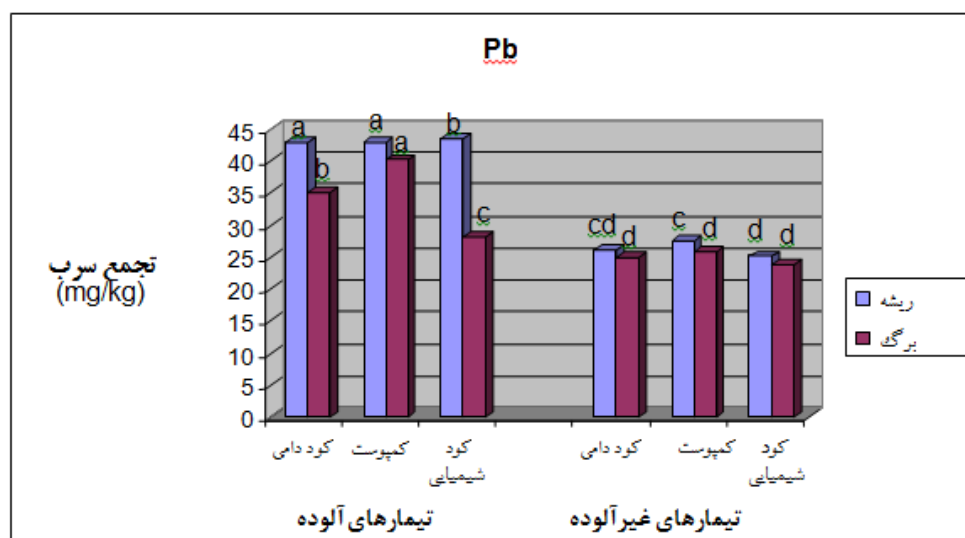
شکل ۲: عملکرد گیاه شاهی (وزن خشک)



شکل ۳: میزان تجمع کروم در ریشه و برگ شاهی (وزن خشک)



شکل ۴: میزان تجمع مس در ریشه و برگ شاهی (وزن خشک)



شکل ۵: میزان تجمع سرب در ریشه و برگ شاهی (وزن خشک)

منابع و مأخذ

۷- سیلسپور، محسن. (۱۳۸۰). امکان سنجی استفاده از کمپوست حاصل از زباله شهری در زراعت گندم و جایگزینی آن با کودهای شیمیایی، مجموعه مقالات علمی همایش بهره برداری از منابع تجدید شونده و بازیافت در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان) دانشکده کشاورزی.

۸- لگرید، ام. بکمن، او. سی و کوستاد، ای. او (۱۳۸۵). کشاورزی، کود و محیط زیست، ترجمه مجید جامی الاحمدی، بهنام کامکار و عبدالمجید مهدی دامغان. دانشگاه فردوسی مشهد.

۹- مولدان، بدریچ و بیلهارز، سوزان (۱۳۸۱). شاخص‌های توسعه پایدار، ترجمه نشاط حداد تهرانی و ناصر محرم نژاد. چاپ اول. تهران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.

۱۰- نوربخش، ش. غضنفری مقدم، ا. (۱۳۸۰). تأثیر عناصر سنگین خاک در رشد و در قسمت‌های خوراکی گیاه، چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط.

۱۱- ولف، بنجامین و اسنایدر، جورج (۱۳۸۶). خاک‌های پایدار: جایگاه ماده آلی در پایداری و حاصلخیزی خاک، ترجمه عبدالمجید مهدوی دامغانی، رضا دیهیم فرد و رضا میرزایی تالار پستی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

۱- احمدیان، احمد. قنبری، احمد. سیاه سر، براتعلی. حیدری، مصطفی. مررودی، محمود و موسوی نیک، سید محسن (۱۳۸۸). اثر بقایای کود شیمیایی، دامی و کمپوست بر عملکرد، اجزای عملکرد، برخی خصوصیات فیزیولوژیک و میزان اسانس بابونه تحت شرایط تنش خشکی، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۸، شماره ۴.

۲- اکبری مقدم، علیرضا (۱۳۸۹). کاربرد طراحی Doehlert برای بهینه‌سازی روش مایکروویو جهت تعیین عناصر جزئی در غلات، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیمی گرایش تجزیه. دانشگاه آزاد اسلامی. کرمان.

۳- بای بردی، محمد (۱۳۸۲). فیزیک خاک. چاپ هفتم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۴- براهیمی، نوید. افیونی، مجید. کرمی، مهین و رضایی نژاد، یحیی (۱۳۸۷). اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت نیترژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گندم، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۶.

۵- بصیری، ع. (۱۳۷۷). طرح‌های آماری در علوم کشاورزی. مرکز نشر دانشگاه شیراز.

۶- پاولس، ج. ام. و دیگران (۱۳۸۵). آنالیز خاک و گیاه. ترجمه جواد غازان شاهی. چاپ اول. تهران. آیبش.

- compost-treated soils . soil biology and Bio chemistry ., 38 : 1092-1100 .
- 17- Morrison , J.T .(2000) .Heavy metal Redistribution in soils using compost as a soil Amendment ., M.S Thesis , West Virginia university . 32-33 .
- 18- Ouedraogo , E ., Mando , A ., Zombre , N.P .(2001) . Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system Environm ., 84 : 259-266 .
- 19- Tan , Y ., Bond , W.J ., Griffin , D.M .(1992) . Transport of bacteria during unsteady unsaturated soil water flow , soil science society of American Journal ., 56 : 1331-1340 .
- 20- Shuman , L.M .(1999) . Organic waste amendments effect on zinc fractions of two soils, J.Environ .Qual ., 28: 142-1447 .
- 21- Walker , D.J., Clemente, R ., Roig , A ., Bernal , M.P .(2003). The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils , Environ . pollut ., 122: 303-312 .
- 12- Abbott ,D.E., Essington,M.E.,Mullen,M.D., Ammons ,J.T . (2001). Fly ash and lime - stabilized biosolid mixtures in mine spoil reclamation: simulated weathering, J.Environ. qual ., 30: 608 -616 .
- 13- Alkorta,I.,J .Hernanddez -Allica ,J .M .Becerril,I .Amezaga ,I .Albizu and C . Garbisu . 2004 .Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally Toxic heavy metals and metalloids such as zinc , cadmium , lead and arsenic . rev . environ . sci and biotechnol.3 :71 -90
- 14- Cerbasi , I.H ., Yetis , U.(2001) . Biosorption of ni(ii) and pb(ii) by phanerochaete chrysosporium from binary metal system – kinetics . water res ., 27 : 15-20 .
- 15- Eghball, B., Ginting, D., Gilley, J.E.(2004).Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties.,Agron.J.96:442-7.
- 16- Innerebner , G ., Knapp , B ., Vasara , T ., Romantschuk , M ., Insam , H .(2006). Traceability of ammonia-oxidizing bacteria in